

# セレン整流器の許容電流・電圧増加に関する研究

中 川 孝 之

On the Rated Voltage and Current for Selenium-Rectifiers.

Takayuki NAKAGAWA

The author investigated the time-effect in the Voltage-Current characteristics of air-cooled and oil-cooled selenium-rectifiers. In some range, the rectification becomes better the rectifier is loaded and the oil-temperature rises. The voltage and the current, where the rectifier was broken in a short time (a few minutes), were measured. The current decrease when the voltage increases.

This seems to be a proof of the theory that the break-down of a rectifier is due to the melting of the crystallized selenium.

## 1. 緒 言

Se 整流器の動特性をブラウン管オシログラフで見る方法により、Se 整流器動作時の特性を明にした<sup>1)</sup>。この実験結果から整流器動作時中特に、温度の影響に着目して行つた実験結果に就て報告し、Se 整流器の性能保持の限界とその最大許容電流・電圧を得る方法に関する所見を述べる。

尙本問題については短時間の結果で実用化の問題まで考えるならば、長時間に及ぶ寿命試験を行なわねばならない。この問題については更に試験中である。

## 2. 実験方法及観測結果

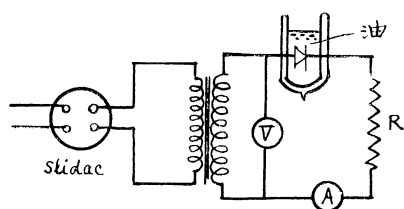


図-1

図-1は実験装置図で、実験は主として油（変圧器油）の中で行うが、空気中と油中の比較をする場合は、Se 整流器を魔法瓶に入れた油中より取り出して実験した。使用のSe 整流器は図-2に示される様な整流面積約  $1.5 \text{ cm}^2$  のもので、許容電流は  $0.05 \text{ A}$  のものを用いた。そして負荷抵抗を  $5 \Omega$ ,  $53 \Omega$ ,

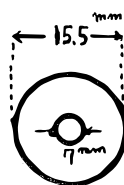


図-2

$80 \Omega$ ,  $160 \Omega$  に選び、夫々の負荷抵抗について、下記の項目に示される様な実験を行つた。

- (イ) 空気中に於て上記夫々の負荷をあたえ電圧上昇にともなう電流を測定する。
- (ロ) 負荷抵抗  $80 \Omega$  とし Se 整流器が破壊されない限度まで電圧を上昇し、次に電圧を下降せしめた場合の電圧と電流の関係を測定する。
- (ニ) 油中に Se 整流器を浸し種々の負荷抵抗に対し、電圧上昇にともなう電流の値を測定する。
- (ホ) 油中に Se 整流器を浸し負荷抵抗  $5 \Omega$  とし、 $30 \text{ V}$ ,  $40 \text{ V}$ ,  $50 \text{ V}$ ,  $60 \text{ V}$  等一定電圧の下で、時間と共に変化する電流値の測定。
- (ヘ) 油中に於ける Se 整流器破壊電圧及び電流を測定する。
- (ト) 油中に於ける整流器の温度上昇にともなう動特性の変化について。

以上各項の実験を行つたが、その方法及び測定結果を以下精細に述べる。

(イ) 空気中に於ける動作時の電圧電流特性

空気中で負荷抵抗  $5 \Omega$ ,  $53 \Omega$ ,  $80 \Omega$  及び  $160 \Omega$  を図-1 の結線の様に接続し、スライタックで入力

電圧を変化せしめ、Se 整流器に交流電圧をあたえ 交流電圧計の読みと直流電流計の読みの関係をしらべ、更に整流器破壊の交流電圧の値を知ることが出来る。図-3はこの関係を示したものである。(a) 曲線は負荷抵抗  $5\Omega$  に対するもので、(b), (c), (d) 曲線は夫々  $53\Omega$ ,  $80\Omega$ ,  $160\Omega$  に対するものである。ここに附言しなければならない事は、負荷抵抗を通る電流はかなり電流値が大きいので発熱する熱の為負荷抵抗値の値が大となる。

この図に於て負荷抵抗が大となるに従つて、印加電圧が高くなつても整流器は破壊されない。厳密には上図で示される電圧により印加電圧が負になつたとき負荷抵抗を流れる電流と負荷抵抗の積を差引いた電圧で、破壊の電圧が定まると考えねばならない。従つて 図-3 から直に破壊電圧を定めることは不適當であるが、凡その値が定まると考えた。

(ロ) 空气中に於て Se 整流器にかかる 電圧上昇時と下降時に於ける電流値の相違

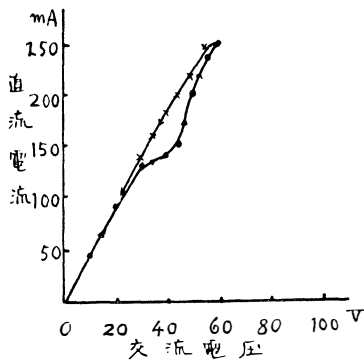


図-4

その中負荷抵抗を  $80\Omega$  とし油温度  $35^\circ\text{C}$  とした場合の関係は図-5のようになる。之によれば凡そ電圧が  $30\text{ V}$  程から電圧の上昇に対する電流増加の割合が少くなり、時間と共に一定電圧に対し電流が次第に増加する。この様子を本図に於て曲線に幅をもたせて表わしたのが(a) 図である。又同一負荷抵抗とし油の温度が高い場合は(b) 図の様に曲線の彎曲が小さいことが知られる。

(ニ) 油中にて Se 整流器にかかる 電圧上昇時と下降時に於ける電流値の相違

負荷抵抗  $80\Omega$  油温度  $35^\circ\text{C}$  とし印加電圧を上昇した場合の電流値と、下降した場合の電流値の相違を測定し、さらに油温度が  $43^\circ\text{C}$  に上昇したのでこの状態で電圧を上昇せしめた場合の電流値の変化の有様は図-6のようになる。油の温度が低い場合には A の曲線にしたがつて電圧上昇につ

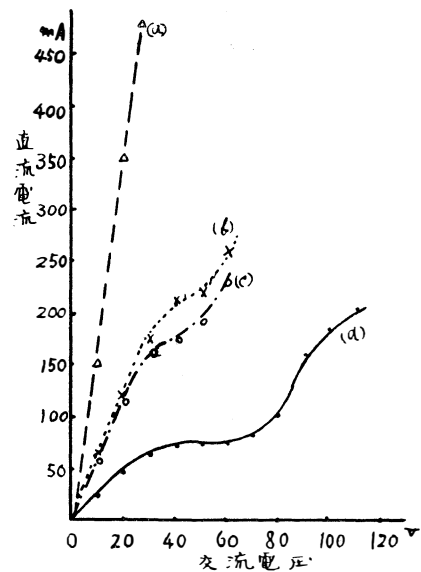


図-3

負荷抵抗を  $80\Omega$  とし、整流器が破壊されない 限度の印加電圧まで上昇した電圧と電流の関係、及び最高電圧から降圧した場合の電圧と電流の関係は 図-4 の様になる。

この図から分ることは、電圧、電流特性に履歴があることである。実験に際して電圧を上昇してゆく場合電圧  $30\text{ V}$  附近から電流値は、一定電圧に対して増加する傾向にあつたが電圧下降時には、その傾向はほとんど認められなかつた。

(ハ) 油中に於ける動作時の電圧電流特性

油中に Se 整流器を浸し、種々の負荷抵抗に対して電圧上昇にともなう電流の変化を測定したが、

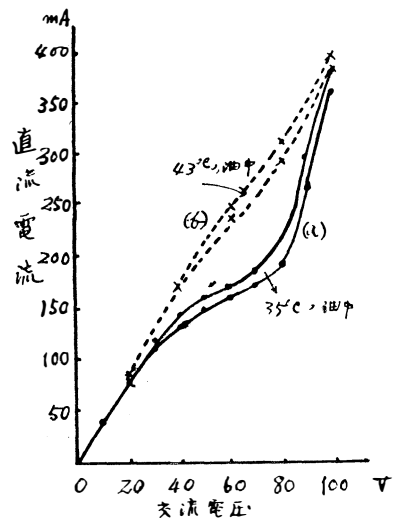


図-5

れて電流が増加し、電圧を下降させると B 曲線に従つて電流が減少する。更に電圧を上昇せしめると C 曲線に沿うて電流が増加する。

(ホ) 油の温度上昇と電流及び時間の関係

油の中に Se 整流器を浸し負荷抵抗  $5\Omega$  とし、一定電圧 30 V, 40 V, 50 V 及び 60 V の夫々の下で時間と共に変化する電流の関係、及び油の温度と時間の関係を記入すると図-7 の様になる。ここで油を魔法瓶に入れたのは Se 整流器によつて発生した熱量を外部へ放散せしめないためである。

これによつて整流器を流れる電流は低電圧では一定であるが、高電圧で負荷抵抗が小となれば大電流が流れ、その値は時間が経つと減少する事を知つた。

一方油の温度は高電圧では大電流が流れるため、発熱量は大となり、温度上昇率は大であることが分る。

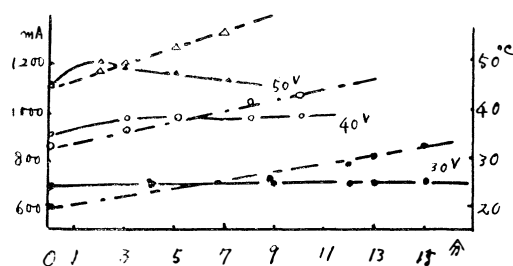


図-7

(ヘ) 油中における Se 整流器の破壊電圧及び電流の測定

負荷抵抗の色々な値に対し、Se 整流器を油の中へ入れ電圧を上昇すると数分にして整流器が整流性を失う。この整流性を失う限界電圧と負荷抵抗及び電流の関係を測定すると図-8 の様になる。この様な実験の際油を攪拌すれば破壊時間が長くなる様であつた。

(ト) 温度上昇と Se 整流性能について

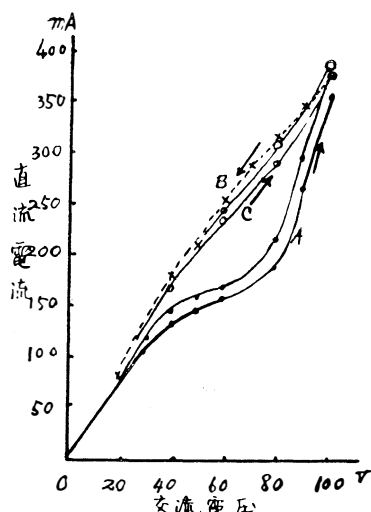


図-6

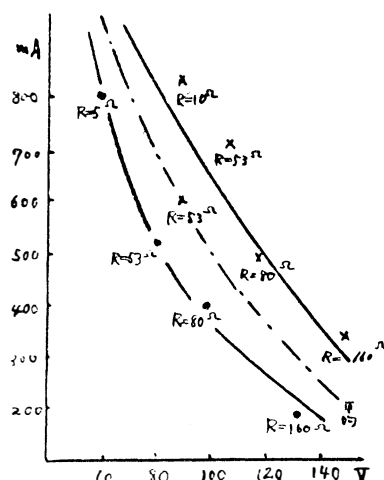


図-8

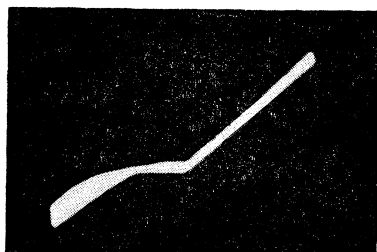


写真 1

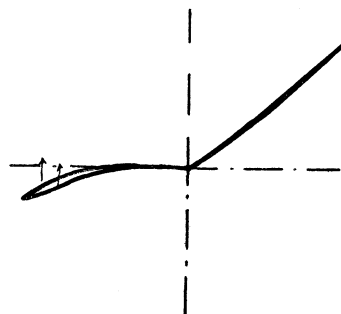


図-9

油中に於ける整流器の温度上昇にともなつて整流器の動特性の変化をブラウン管オシログラフを使用して得られた実験結果は写真1の様である。この写真の意味は、整流器の温度が高まるにつれて正電圧に対しては瞬時電流がわずかに減少し、負電圧で瞬間電流が減少するがこれは前者に比べて大である。この事を図-9で示すと電圧電流特性は常温附近で温度の上昇につれて矢印で示す変化をすることが分つた。写真は負荷抵抗  $53 \Omega$ 、印加電圧  $70 \text{ V}$  電流が初め  $390 \text{ mA}$  であつたものが  $405 \text{ mA}$  まで増加する間の電圧電流変化をブラウン管オシログラフに画かせて写真に取つたものである。

### 3. 考 察

#### (a) 油中と空気中に於ける電圧電流特性の比較

この問題は(イ)(ロ)(ハ)の実験から総合的に次の様な結論を導く。

Se整流器動作時に於て電圧電流特性を空気と油の場合共に低電圧では殆んど同一曲線変化をするが、油中の場合は  $30 \text{ V}$  附近から曲線が彎曲し  $80 \text{ V}$  あたりまで同一傾向を取り、それ以上の電圧で急に負の電流値が増大する傾向をもつ。他方空気中に於ては油の場合と低電圧では似た傾向の曲線となつて電流はやや大である。電圧約  $50 \text{ V}$  附近から急に電流が増加し、電圧をあまり大にすることが出来ない事が図-10から分る。この図は図-4と図-6を重ねた図である。

この図から油は整流体の冷却作用を行う。従つて油の存在のため印加電圧を空気の場合より相当増加しても整流器は破壊しない事が知られ、又一定電圧に対して電流は時間と共に増加し、この増加の最大限度は、例えば負荷抵抗  $80 \Omega$  について印加電圧  $80 \text{ V}$  では約  $350 \text{ mA}$  流れるまで次第に増加するであろう。実際に2,3種の電圧について一定電圧で電流の増加の限度をしらべると、図-11の様に  $oa$  までの電圧上昇に対して  $\widehat{OA}$  なる曲線を描き、 $a$  で一定電圧に保つとこの電圧が低い場合は長時間を経て  $B$  点に達する。この状態に達するには、油の温度が Se 整流器の温度にほとんど平衡する時期だと想像される。更に  $ab$  なる電圧上昇をすれば  $\widehat{BC}$  なる曲線に沿ひ、 $C$  点で電圧を一定

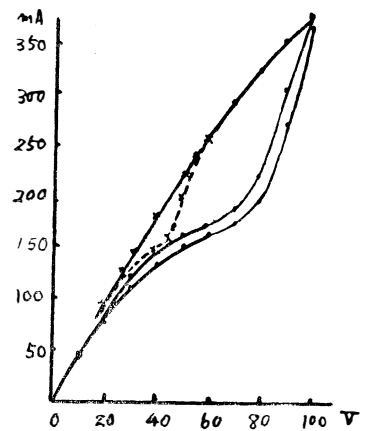


図-10

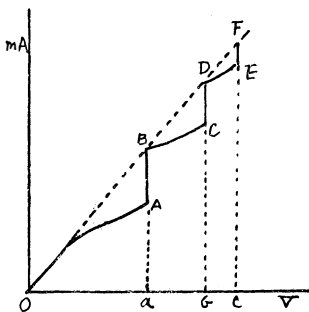


図-11

にすれば、電流は次第に増加し  $D$  点に達する。この場合 Se 整流器内の発熱量が大であるから定常状態  $D$  に達する時間は小である。

ここに於て空気でも油の場合でも電圧電流の理想的曲線  $OBDF$  が考えられ、実験に於てはこの理想的曲線より小さな傾斜をもつ曲線が得られるのであらうと考えられる。そして低電圧では油中でも空気中でも殆んど同一の電圧電流特性を有し、高電圧になるに従つて Se 整流器の温度と外部温度との差が大となり、理想的曲線から実験では偏倚する結果が観察されるのであらう。もし仮に電圧電流特性の実験を無限にゆつくり行つたとすれば、前述の理想曲線上を通ると考えられる。

従つて油は熱放散を空気より効果的に行ひ、印加電圧を大ならしめるため、熱放散のため Se 整流器の Se 熔融温度に容易にさせない事となる様に考えられる。

かかるが故に油中に整流器を入れる事は整流器の温度を低く保ち、Se の熔融温度に容易に到らせない効果を有すると思われるから、油の対流を盛ならしむる方法を考える事により、耐圧許容電流、

使用時間の増大をなし得る様に思う。

(b) 油中にて整流器にかかる電圧上昇時と下降時に於ける電流値の相違

この問題は(=)(ホ)の実験から得られる結論である。

図-10に於て30V以上では油の場合でも空気の場合でも同様に時間の経過に従つて整流電流が次第に大となることである。これは油の温度と整流器の温度差が大であるとき甚しく起る現象で、油でも空気の場合でも温度差が大でないときは電流値も殆んど一定していることは図-7, 10の電圧下降の曲線を見れば分る。

尚図-6に於て電圧の上昇降下及び上昇にともなう電流の変化に際して、初めの電圧上昇についてはAであつたものが下降によりBとなり、更に電圧上昇をさせるとBより下のC曲線になるのは、油の温度が上昇して整流器の温度が上昇したため、整流性能が良くなつたと考えられる。この事は(ト)の実験からも知られるであろう。

(c) Se整流器の温度についての考察

図-9及び写真によれば温度の上昇に従つて整流性が良くなることが分る。ここで整流板の温度を知りたいのであるが、この測定は困難であるから油の中で電圧電流をあたえて温度の間接的な表現とする。(負荷抵抗 53  $\Omega$ , 70 V, 390~405 mA)

この様な現象は金属学的に見て、Se金属の結晶化と関連させて見たい<sup>2)</sup>。

硝子状Se(過冷却融体)が金属Seに変化する場合、その結晶化は一定温度で起るものでなく加熱温度及び加熱時間に左右され結晶化するとき発熱が起り、若し結晶化が徐々に進行するときは発熱による温度上昇は殆んど認められないが、急激に結晶化がおこなわれるときは発熱も急激で著しく温度の上昇があると言われている。例えば発熱によりSe自身の温度は結晶化が急に起るときは、恒温槽の温度以上となるのみならず、その温度は恒温槽の温度が低くても時にはSeの融点近くの温度にまで上昇すると云われている。

この様な実験上の結果から筆者の実験に於て、(ト)の実験の様に温度の上昇と共に整流性が良くなる事、(イ)(ロ)(ハ)(=)の実験の様に一定電圧の下で時間と共に電流が増加すると云う現象を検討すると、この様な時間的变化の生じている領域では、Se整流器の結晶化が起つているのであると思う。その結晶化の程度が電流の値を決定する。この状態から電圧を下げたとき電流が減少するが、この電流と結晶化のSe粒子の関係は更に研究をしなければならない。この関係が明かになれば負電圧に対する整流器のCreep現象の解決に何等かの影響を示すのでないかと思われる。

次に実験に際し高温度になつてSeが熔融温度になり、熔融したSe整流器は冷却によつても再び整流性能を示さないので熔融Seは冷却により金属Seにならないで、過冷却Se即ち硝子状Seになる事は金属学の教えるところである<sup>3)</sup>。硝子状Seは整流性を有して居ない。

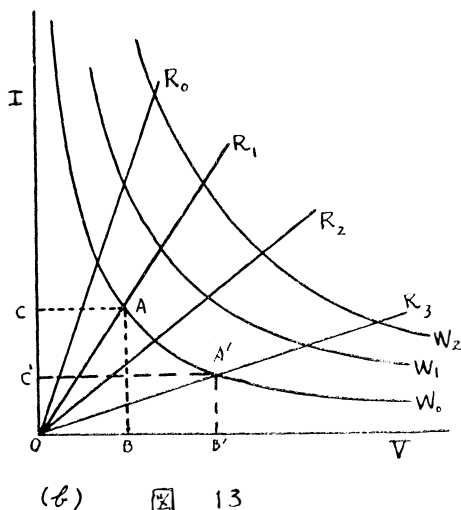
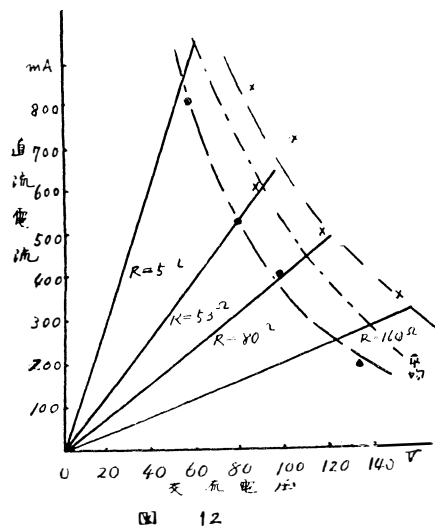
更に上述の様な熔融温度附近でSe整流器は破壊される様である。筆者の実験では破壊されたSe整流器を見るとSeは熔融されたと同時に膜がはがれて居る。この現象は金属学的に見てSeの金属化にともなう体積の収縮によるものと考えられる<sup>4)</sup>。

金属学上硝子状Seの金属化の温度は凡そ200°C程でこの温度で体積が収縮して金属Seに状態が変ることが知られている。従つて約200°CがSe整流器機械的破壊の限界であり、又結晶化が急激に起りはじめるのは約120°C程でこの温度で結晶化が大となりこれにともなつて発生する熱のためSeが熔融する温度約200°Cに達するから整流器の性質を確保する限界は外部温度が約120°C程であると思われる。

(d) Se整流器使用上考慮すべき問題について

空気中でも油中でも同一負荷抵抗に対しては、低電圧では凡そ等しい変化をする事は前述の通りであるから、電圧電流の特性はそれぞれの電圧に於て時間の経過と共に理想線の近くまで電流値が

増加すると考えられる。その理想線は夫々の負荷抵抗に対して図-11の4本の直線で示される。筆者の実験によれば負荷抵抗  $80 \Omega$  では  $100 \text{ V}$  で数分間中に整流器が破壊される事が分つた。このような条件のもとで数分間中に整流器の外部温度が  $120^\circ\text{C}$  程の温度になり、ここで結晶化にともなう発熱のため、機械的・熔融的に破壊され、整流性の消失が考えられる。ここに於て数分間で整流器が破壊される限度が得られ、この点をA点とする。ここで横軸縦軸に平行なる直線によつて囲まれる面積に等しい面積を予想し、他の3本の線上の点でこの面積に等しい条件を満足する電圧を整流器に印加すると、殆んど前と同様な状態で整流器が破壊された。従つて面積一定なる点の軌跡は横軸縦軸を漸近線とする双曲線とする双曲線でこの双曲線と夫々の負荷抵抗の理想線の交点がその破壊電圧、電流の



限界であろうと云うことになる。この関係を図示すると図-13の様になる。故に第1図に於てABOCの面積を如何なる値に選ぶかによつて、耐電圧許容電流及び長時間動作の限界が定まると考えられる。故に整流器を動作させる場合印加電圧が高ければ電流密度を小ならしむ様に負荷抵抗を大ならしめねばならない。負荷抵抗が小さく電圧が低くとも大電流が得られるが、この場合はSe整流器内の発熱作用により体積の収縮及びSeの熔融を考え整流器の冷却に努むるのみならず、電流値を制限しなければならない。

#### 4. 結 論

油中で整流器を作動させる場合の効果を明かにし、整流器の耐圧許容電流に対する吟味を行つた。この結果から数枚のSe整流器を使用しているが、油中ではその枚数を減少せしめる事が出来る事を明かにした。この様な方法による整流は電池の充電には差支がないが通信方面の電源としては問題があると思われる。この点に関しては更に研究を行う予定である。

終りに臨み本研究を行うにあたり終始御懇篤なる御指導と御声援を賜つた森教授に心から感謝いたします。又発表に際し種々御便宜を頂きました電気科教官各位に深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- (1) 齊藤, 中川: 富山大学工学部紀要 本誌
- (2) 佐藤, 金子: 日本金属学会 分科会報告 IV-A 1952 37頁
- (3) 佐藤, 金子: 日本金属学会 分科会報告 IV-A 1952 40頁
- (4) 佐藤, 金子: 日本金属学会 分科会報告 IV-A 1952 40頁